3К

УДК 681.5:683.3(075.8)

Г.А. Каяшева
Филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета,
г. Стерлитамак, Россия
kayasheva_galina@mail.ru

Разработка нечеткого регулятора с четкими термами в целях повышения качества работы и быстродействия

В статье предложен новый подход к разработке нечеткого регулятора на основе использования новых принципов обработки данных путем применения лингвистических переменных с четкими термами для осуществления процедуры фаззификации нечеткого регулятора. Описан алгоритм работы такого нечеткого регулятора и приведена сравнительная оценка показателей качества работы данного нечеткого регулятора с классическим.

Введение

В существующих нечетких регуляторах [1-3] для формирования условной части продукционных правил обычно используются только термы входных лингвистических переменных. Однако результат логического вывода в упомянутых правилах будет селективнее и точнее, а показатели качества нечеткого регулирования выше, если в антецедентах наряду с входными термами использовать и термы выходных лингвистических переменных.

Постановка задачи

Решаемая задача – построение принципиально нового типа нечеткого регулятора, превосходящего существующие аналоги по быстродействию и качеству работы.

В 1961 г. профессор Л. Заде предложил совершенно новый подход для решения классических задач автоматизации. Ему удалось ассимилировать уникальные алгоритмы и применить их. Создавая свои системы, ученый применял не стандартные математические алгоритмы, а обычные человеческие слова (сильная, добрая, смелая). Это многое изменило в мире автоматизации и позволило создавать системы автоматического управления нового уровня, системы, полно и всецело поддерживающие аппарат нечеткой логики.

Затем появились первые интегрированные системы управления, сочетающие в себе преимущества научного подхода нечеткой логики и других базовых компонентов искусственного интеллекта – ИИ (экспертных систем, баз данных, баз знаний, нейронных сетей). Отметим, что это во многом упростило и приблизило процесс автоматизации технологического процесса к естественному человеческому языку. Однако по-прежнему оставались нерешенными две основные проблемы в области нечетких систем управления: робастности и большого времени отклика. Цель данной работы представить один из подходов (взглядов) к решению проблемы сокращения времени отклика.

Общие принципы работы нечеткого регулятора, построенного на основе лингвистических переменных с четкими термами

Как показывает единая логическая природа четких термов лингвистических переменных [4] (эти термы – суть аргументы функций двузначной логики) и дискретных сигналов (входных и выходных) объекта управления, можно разработать нечеткий регулятор, который принципиально отличается от существующих присутствием в структуре условной части продукционных правил всех перечисленных термов и сигналов. Иначе говоря, в структуре условной части продукционных правил нечеткого регулятора на основе лингвистических переменных с четкими термами могут присутствовать наряду с термами входных лингвистических переменных дискретные входные и выходные сигналы объекта управления, а также термы выходных лингвистических переменных. Причем взаимосвязь между перечисленными термами и сигналами обеспечивается не операциями нечеткой логики, отличающимися громоздкостью и трудоемкостью, а лаконичными и точными операциями алгебры Буля.

На рис. 1 представлена структурная схема нечеткого регулятора, построенного на предложенных выше принципах [2], [3]. Остановимся подробнее на её особенностях.

На вход фаззификатора (Ф) подаются не только задающие значения ($З_1$, $З_2$, …, $З_n$) n регулируемых параметров P_1, P_2, …, P_n, но и текущие значения этих параметров в виде сигналов отрицательной обратной связи. Фаззификатор имеет два выходных канала: T_1^* и T_2^*.

В канал T_1^* входят термы входных и выходных лингвистических переменных, которые используются для формирования простых продукционных правил. Условная часть в таких правилах состоит только из одного терма и поэтому не содержит таких операций алгебры Буля, как И, ИЛИ, НЕ. Эту мысль можно пояснить на примере следующего правила:

$$\text{ПРАВИЛО_1: ЕСЛИ } v_1 = V_{14}, \text{ то } p_2 = P_{21}, \quad (1)$$

где V_{14} – терм входной лингвистической переменной v_1 нечеткого регулятора; P_{21} – терм выходной лингвистической переменной p_2. Как следует из правила (1), его условная часть (антецедент) представлена одним термом (V_{14}) и не содержит никаких логических операций.

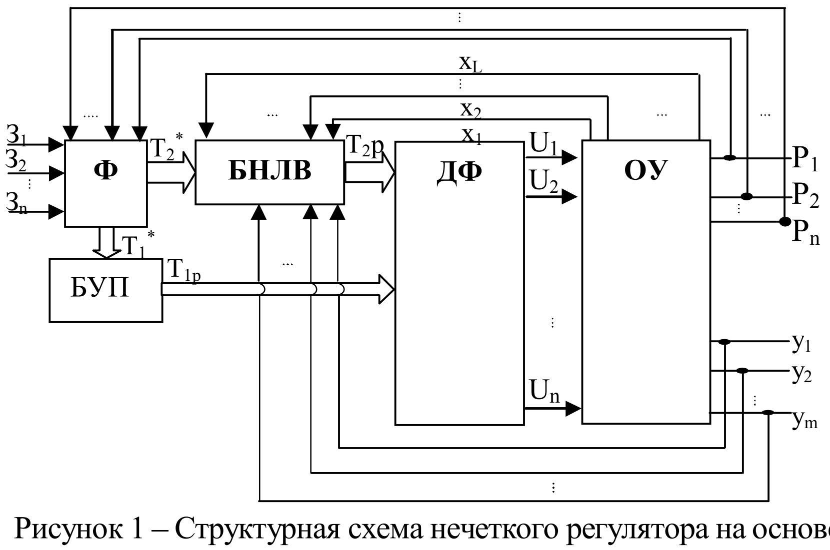


Рисунок 1 – Структурная схема нечеткого регулятора на основе множества булевых функций

В целях повышения быстродействия нечеткого регулятора правила типа (1) целесообразно выполнять совместно с процедурой фаззификации, поскольку процедура фаззификации и реализация условной части правил типа (1), в которых используется один и тот же терм, алгоритмически идентичны.

Вот почему упомянутую процедуру целесообразно выполнить в составе нечеткого регулятора один раз совместно с фаззификацией, поскольку фаззификация – процедура необходимая и её нельзя исключить из процесса нечеткого логического вывода. В результате появляется возможность сократить из системы продукционных правил нечеткого регулятора все правила типа (1) за счет реализации их совместно с процедурой фаззификации [5].

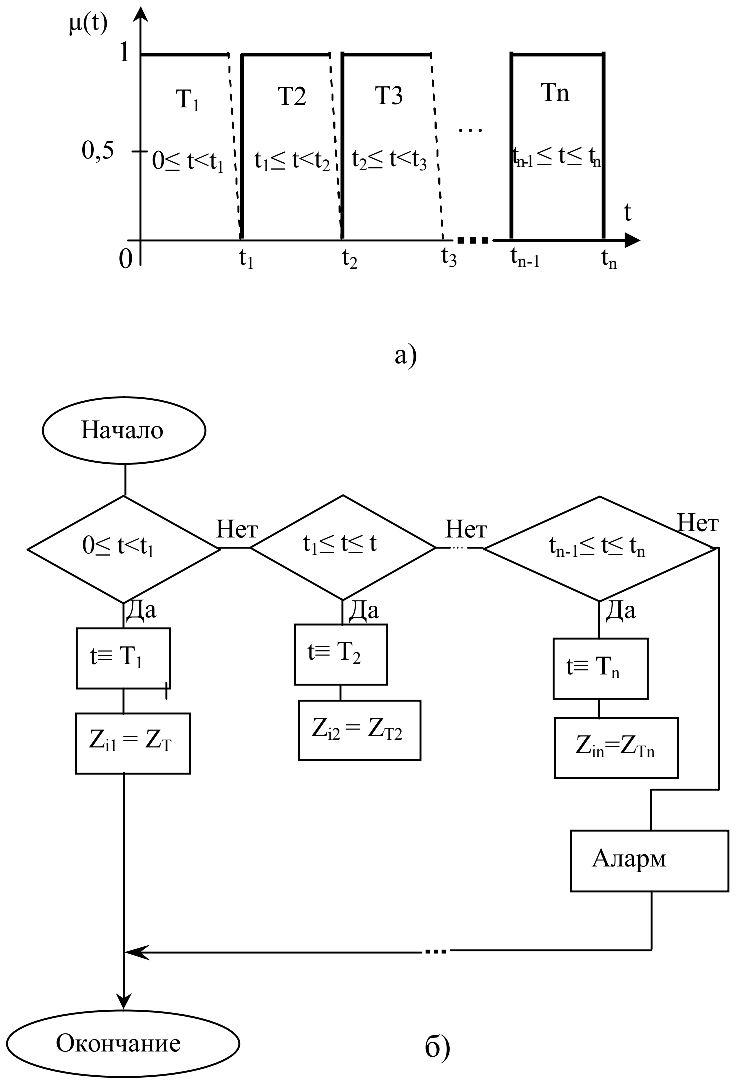


Рисунок 2 – Совмещение фаззификации и отработки простейших продукционных правил

Изложенная концепция совмещенной реализации фаззификации и продукционных правил типа (1) иллюстрируется на рис. 2. Из него следует, что четкие значения физической величины t с помощью операторов условного перехода $(0 \le t < t_1)$, $(t_1 \le t \le t_2)$, …, $(t_{n-1} \le t \le t_n)$ и присваивания

$$(t \equiv T_1),\ (t \equiv T_2),\ \ldots,\ (t_{n-1} \le t \le t_n) \qquad (2)$$

преобразуются в термы T_1, T_2, T_3…, T_n лингвистической переменной T (рис. 2а и б). Нетрудно заметить, что операторы условного перехода по своей логической природе представляют собой условную часть продукционных правил, в которых используется только один терм, то есть по структуре они идентичны условной части продукционных правил типа (1). Поэтому реализацию таких правил в данном случае целесообразно свести к введению в алгоритм фаззификации (рис. 2б) после операторов (2) команд присваивания типа

$$(Z_{i1} = Z_{T1}),\ (Z_{i2} = Z_{T2}),\ \ldots,\ (Z_{in} = Z_{Tn}), \qquad (3)$$

где (Z_{i1}, Z_{i2}, …, Z_{in}) – n выходных лингвистических переменных нечеткого регулятора, а (Z_{T1}, Z_{T2}, …, Z_{Tn}) – их термы.

В структуре нечеткого регулятора на рис. 1 команды (3) реализуются в блоке ускоренного присвоения (БУП), на выходе которого формируется множество термов выходных лингвистических переменных T_{p1}, элементы которого получаются в результате нечеткого логического вывода по продукционным правилам типа (1). Например, результатом нечеткого логического вывода правила (1) будет терм P_{21} выходной лингвистической переменной p_2, который подается на один из входных каналов дефаззификатора.

Преимущества такого решения очевидны: за счет двойного использования операторов (2) (в алгоритме фаззификации и в качестве условной части продукционных правил типа (1)) создаются принципиально новые условия для повышения быстродействия нечеткого регулятора с четкими термами лингвистических переменных и снижения объема памяти, необходимой для его реализации.

В канал T_2^* входят термы входных и выходных лингвистических переменных, которые используются в продукционных правилах со сложной условной частью. В таких продукционных правилах с четкими термами антецедент в общем случае представляет собой минимизированную дизъюнктивную нормальную форму (ДНФ), конъюнкции которой формируются из термов лингвистических переменных нечеткого регулятора. Для пояснения этого случая приведем следующий пример:

$$\text{ПРАВИЛО_2: ЕСЛИ } (v_1 = V_{14})\&(v_2 = V_{22}) + (v_1 = V_{12})\&(v_3 = V_{32}),\ \text{то } p_3 = P_{33} \qquad (4)$$

Как следует из правила (4), его условная и заключительная части реализуют следующую булеву функцию:

$$V_{14}\&V_{22} + V_{12}\&V_{32} = P_{33}, \qquad (5)$$

где V_{14}, V_{22}, V_{12}, V_{32} – четкие термы входных лингвистических переменных v_1, v_2, v_3 соответственно; P_{33} – четкий терм выходной лингвистической переменной p_3. В общем случае консеквент правила типа (4) может содержать список из нескольких операторов присвоения. Из этого следует, что при равенстве антецедента правила логической единице производится выбор конкретного терма для всех выходных лингвистических переменных, заявленных в заключительной части рассматриваемого правила.

Следует иметь в виду, что термы, входящие в канал T_1^*, могут использоваться также и в канале T_2^*, а антецедент правил типа (4) в общем случае может наряду с термами входных и выходных лингвистических переменных содержать и дискретные входные и выходные сигналы объекта управления. Именно в этом заключается принципиальное отличие нечетких регуляторов с четкими термами от существующих.

В блоке нечеткого логического вывода (БНЛВ) реализована система нечетких продукционных правил регулятора с четкими термами. Её структура состоит из отдельных логических блоков, каждый из которых содержит множества нечетких

продукционных правил, предназначенных для регулирования одного из регулируемых параметров объекта управления. Отсюда следует, что если объект управления содержит n регулируемых параметров, то и соответствующий ему БНЛВ будет состоять из такого же числа логических блоков (рис. 1), имеющих регулярную структуру.

Структура этих блоков ($П_1 \div П_n$) также регулярна: содержат (3÷7) продукционных правил, из которых одно правило предназначено для поддержания регулируемой величины на уровне номинального значения. Следующие одно или три правила используются для перевода регулируемой величины в номинальное значение, когда регулируемая величина ниже своего номинального значения. Наконец, последние одно или три правила используются для перевода регулируемой величины в номинальное, когда эта величина выше своего номинального значения. Количество продукционных правил, необходимых для перевода значения регулируемой величины из других в номинальное значение, определяется качеством регулирования и увеличивается по мере повышения требования к качеству регулирования.

Первой особенностью БНЛВ предлагаемого нечеткого регулятора является наличие не одного, а трех входных каналов: термов входных и выходных лингвистических переменных (T_2^*); дискретных выходных (Y_1, Y_2, …, Y_m) и входных (X_1, X_2, …, X_L) сигналов объекта управления. Все перечисленные термы и сигналы «равноправно» могут использоваться в структуре условной части продукционных правил нечеткого регулятора с четкими термами. Использование в БНЛВ двух последних видов сигналов стало возможным благодаря тому, что четкие термы лингвистических переменных по своей логической природе являются аргументами двузначной логики, которые, по определению, могут принимать только два значения: логический ноль или логическая единица.

Поскольку все перечисленные термы и сигналы «равноправно» могут использоваться в структуре условной части продукционных правил, то это создает единую теоретическую основу для разработки нечетких регуляторов и логических устройств систем управления и предоставляет системотехнику дополнительные возможности для повышения качества управления процессами. Вот почему в структуре систем управления с нечеткими регуляторами, использующими четкие термы, нет четкой границы между процессами регулирования (аналогового или цифрового) и логического управления. Благодаря четким термам в системах управления возникла уникальная ситуация, в которой управление непрерывными и дискретными выходными параметрами объекта управления сведено к логическому управлению на основе двузначной логики.

Из этого следует, что для задания или формирования базы правил с четкими термами необходимо задать не три [6], а пять множеств [4]: множество из n правил нечетких продукций $P = \{R_1, R_2, \ldots, R_n\}$в форме (4); множество m входных лингвистических переменных $V = \{V_1, V_2, \ldots, V_m\}$; множество s выходных лингвистических переменных $W = \{W_1, W_2, \ldots, W_s\}$; множество L входных дискретных сигналов $X = \{X_1, X_2, \ldots, X_L\}$; множество k выходных дискретных сигналов $Y = \{Y_1, Y_2, \ldots, Y_k\}$. Таким образом, база правил нечетких продукций с четкими термами считается заданной, если заданы множества P, V, W, X и Y.

Вторая особенность БНЛВ с четкими термами лингвистических переменных обусловлена тем, что на универсальной числовой оси смежные четкие термы не накладываются (не пересекаются), что позволило вычислять консеквенты продукционных правил с четкими термами с точностью до конкретного терма выходных лингвисти-

ческих переменных. Это обстоятельство позволяет при сканировании системы продукционных правил, относящихся к конкретному регулируемому технологическому параметру, отрабатывать не все правила, а только те, которые в программе располагаются выше того правила, антецедент которого в данный момент времени равен логической единице.

Выводы

Таким образом, появляется дополнительная возможность повышения быстродействия нечеткого регулятора с четкими термами за счет расположения в начало системы правил тех продукционных правил, которые при сканировании более часто срабатывают. Следует отметить, что в классических нечетких регуляторах такая возможность отсутствует. Поскольку четкие термы выходных лингвистических переменных имеют прямоугольную форму, то процедура дефаззификации в предложенном нечетком регуляторе существенно упрощается.

Все это позволяет нам заключить, что разрабатываемый нечеткий регулятор с четкими термами позволяет решить проблему сокращения времени отклика, работает на порядок качественнее и быстрее, чем классические регуляторы.

Литература

1. Комарцова Л.Г., Максимов А.В. Нейрокомпьютеры: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2004. – 400 с.
2. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ – Петербург, 2005. – 736 с.
3. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети: Учеб. пособие. – М.: Из-во физ.-мат. литературы, 2001. – 224 с.
4. Муравьева Е.А., Каяшева Г.А. Решение о выдаче патента на изобретение № 2006107.7334/09 (007956) «Нечеткий регулятор с лингвистической обратной связью для управления технологическими процессами» с приоритетом от 09.03.2006 г.
5. Муравьева Е.А., Колязов К.А., Каяшева Г.А. Патент на полезную модель № 51242 «Самонастраивающаяся система автоматического управления нестационарными технологическим объектом» с приоритетом от 21.10.2005 г.
6. Круглов В.В., Дли М.И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики нечеткого вывода. – М.: Из-во физ.-мат. литературы, 2002. – 256 с.

Г.А. Каяшева

Розробка нечіткого регулятора з чіткими термами в цілях підвищення якості роботи і швидкодії
У статті запропонований новий підхід до розробки нечіткого регулятора на основі використання нових принципів обробки даних шляхом застосування лінгвістичних змінних з чіткими термами для здійснення процедури фаззифікації нечіткого регулятора. Описаний алгоритм роботи такого нечіткого регулятора і приведена порівняльна оцінка показників якості роботи даного нечіткого регулятора з класичним.

G.A. Kayasheva

Development of Fuzzy Logic Controller with Well-define Terms in an Effort to Improve Quality of Work and Speed
The new approach to development of fuzzy logic controller is proposed on the basis of new principles of data processing by means of linguistic variables with well-defined terms for fuzzification. Algorithm of this type is described and its work quality indicators are compared with classic ones.

Статья поступила в редакцию 25.02.2008.